

PCT

WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
Internationales Büro



INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

(51) Internationale Patentklassifikation:

G01B 9/02, 11/14, 11/30

A1

(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 99/44009

(43) Internationales

Veröffentlichungsdatum:

2. September 1999 (02.09.99)

(21) Internationales Aktenzeichen:

PCT DE99/00433

(22) Internationales Anmeldedatum: 16. Februar 1999 (16.02.99)

(30) Prioritätsdaten:

198 08 273,8

27. Februar 1998 (27.02.98)

DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): ROBERT BOSCH GMBH [DE/DE]; Postfach 30 02 20, D-70442 Stuttgart (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): DRABAREK, Pawel [DE/DE]; Parkstrasse 16 5, D-75233 Tiefenbronn (DE).

(81) Bestimmungsstaaten: JP, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).

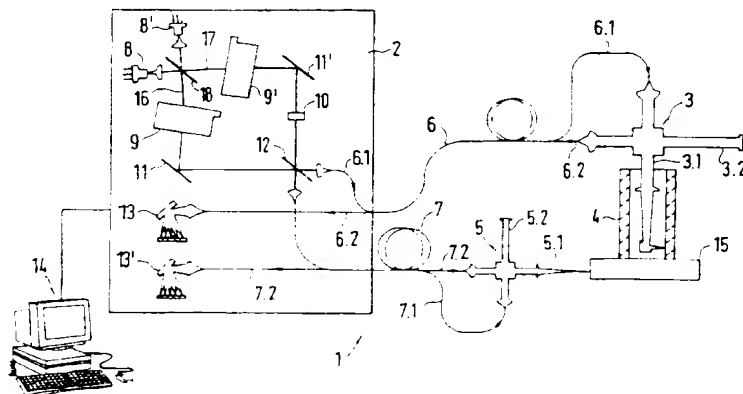
Veröffentlicht

Mit internationalem Recherchenbericht.

Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen Frist; Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen eintreffen.

(54) Title: INTERFEROMETRIC MEASURING DEVICE FOR DETERMINING THE PROFILE OR THE PITCH OF ESPECIALLY ROUGH SURFACES

(54) Bezeichnung: INTERFEROMETRISCHE MESSEINRICHTUNG ZUM ERFASSEN DER FORM ODER DES ABSTANDES INSBESONDERE RAUHER OBERFLÄCHEN



(57) Abstract

The invention relates to an interferometric measuring device (1) for determining the profile of rough surfaces. A spatially coherent beam generating unit is provided. Said unit emits temporally briefly coherent wideband radiation. The device is divided into a section with the components of a modulation interferometer (2) and a section with the components of a measuring probe (3). The measuring probe (3) is linked to the modulation interferometer (2) by an optical fibre system (6) and can be used at a distance from the modulation interferometer (2).

(57) Zusammenfassung

Die Erfindung bezieht sich auf eine interferometrische Meßeinrichtung (1) zum Erfassen der Form rauher Oberflächen, wobei eine räumlich kohärente Strahlerzeugungseinheit vorgesehen ist, die eine zeitlich kurzkohärente und breitbandige Strahlung abgibt, und eine Trennung in einen Abschnitt mit den Komponenten eines Modulationsinterferometers (2) und den Komponenten einer Meßsonde (3) vorgenommen und die Meßsonde (3) über eine Lichtleitfaseranordnung (6) mit dem Modulationsinterferometer (2) gekoppelt ist und von dem Modulationsinterferometer (2) entfernt verwendbar ist.

LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidschan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	ML	Mali	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	MN	Mongolei	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MR	Mauretanien	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MX	Mexiko	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	PL	Polen		
CM	Kamerun	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CN	China	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CU	Kuba	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
CZ	Tschechische Republik	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DE	Deutschland	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
DK	Dänemark	LR	Liberia	SG	Singapur		
EE	Estland						

Interferometrische Meßeinrichtung zum Erfassen der Form oder des Abstandes insbesondere rauher Oberflächen

5 Die Erfindung bezieht sich auf eine interferometrische Meßeinrichtung zum Erfassen der Form oder des Abstandes insbesondere rauher Oberflächen mit mindestens einer räumlich kohärenten Strahlerzeugungseinheit, deren Strahlung in einer Meßsonde in einen durch einen Meßreferenzzweig geführten und darin reflektierten Referenzmeßstrahl und in einen durch einen Meßzweig geführten
10 und an der rauhen Oberfläche reflektierten Meßstrahl aufgeteilt wird, mit einer Einrichtung zur Modulation der Licht-Phase oder zum Verschieben der Licht-Frequenz (Heterodynfrequenz) eines ersten Teilstrahls gegenüber der Licht-Phase oder der Licht-Frequenz eines zweiten Teilstrahls mit einer Überlagerungseinheit zum Überlagern des reflektierten Meßreferenzstrahls mit dem reflektierten Meß-
15 strahl, mit einer Strahlzerlegungs- und Strahlempfangseinheit zum Aufspalten der

überlagerten Strahlung auf zumindest zwei Strahlen mit unterschiedlichen Wellenlängen und Umwandeln der Strahlung in elektrische Signale und mit einer Auswerteeinrichtung, in der die Form bzw. der Abstand der rauhen Oberfläche auf der Grundlage einer Phasendifferenz der elektrischen Signale bestimmbar ist.

Eine derartige interferometrische Meßeinrichtung ist in der EP 0 126 475 B1 als bekannt ausgewiesen. Bei dieser bekannten Meßeinrichtung werden raue Oberflächen eines Meßobjektes interferometrisch ausgemessen, wobei eine Strahl-
erzeugungseinheit mit Laserlichtquellen verwendet wird, die Licht unterschiedlicher Wellenlängen abgeben. Mittels eines Strahlteilers wird das Laserlicht in einen Referenzstrahl eines Referenzstrahlengangs und einen Meßstrahl eines Meßstrahlengangs aufgeteilt. Der Meßstrahlengang trifft auf die zu vermessende Oberfläche, während der Referenzstrahlengang an einer Referenzfläche z.B. in Form eines Spiegels reflektiert wird. Das von der Oberfläche und der Referenzfläche reflektierte Licht wird im Strahlteiler vereinigt und mit Hilfe einer Linse in eine Interferogrammebene fokussiert, in der ein Speckle-Muster auftritt. Dieses Speckle-Muster wird zur Bestimmung der Oberflächenform ausgewertet, wobei eine Phasendifferenz der Interferogrammphasen im Meßpunkt bestimmt wird. Zur Vereinfachung der Auswertung wird ein Heterodyn-Verfahren angewendet, wobei die Frequenz des Referenzstrahles um eine Heterodynfrequenz mittels einer Frequenzverschiebungseinrichtung im Referenzstrahlengang gegenüber der Frequenz des Meßstrahles verschoben wird. Mit dieser Meßeinrichtung können Oberflächenformen fein aufgelöst werden. Das Laserlicht mit unterschiedlichen, diskreten Wellenlängen kann entweder mit einzelnen Laserlichtquellen erzeugt werden, wie z.B. Argon-Laser. Derartige Laserlichtquellen sind relativ teuer. Halbleitlaser mit mehreren unterschiedlichen diskreten Wellenlängen (Moden) da-

gegen sind für derartige interferometrische Messungen ungünstig wegen der mangelnden Stabilität und damit verbundenen Wellenlängenverschiebung. Oder es können mehrere Laserlichtquellen, wie Laserdioden verwendet werden, um die verschiedenen diskreten Wellenlängen zu erzeugen. Dabei ist es technisch aufwendig, die räumliche Kohärenz der aus den verschiedenen Wellenlängen zusammengesetzten Strahlung zu erzeugen. Außerdem ist bei derartigen Laserdioden die Instabilität der einzelnen diskreten Wellenlängen besonders ungünstig. Damit zusammenhängend ist es auch aufwendig mehrere verschiedene diskrete Wellenlängen zur Verfügung zu stellen.

Bei Verwendung von Laserlicht zur Erzeugung der diskreten Wellenlängen ist es auch schwierig, den gewünschten Abstand zwischen Meßsonde und Oberfläche genau einzustellen (Autofokusfunktion). Der Aufbau mit der Laserlichtquelle macht es ferner schwierig, den Meßteil als gut handhabbare Einheit auszubilden, die z.B. anstatt eines mechanischen Tasters einer Meßmaschine eingesetzt werden kann.

Eine weitere interferometrische Meßeinrichtung ist in der DE 39 06 118 A1 angegeben, bei der zwischen mehreren Laserlichtquellen und einem Meßabschnitt Lichtleitfasern vorgesehen sind. Auch hierbei wird zum Bestimmen der Oberflächenstrukturen eine Phasendifferenz ausgewertet. Hinsichtlich der Handhabung an schwer zugänglichen Stellen ist auch dieser bekannte Aufbau ungünstig.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine heterodyn- oder phaseninterferometrische Meßeinrichtung der eingangs angegebenen Art bereitzustellen, mit der bei einfacher Handhabung und einfachem Aufbau auch an verhältnismäßig schwer zugänglichen Oberflächen, wie z.B. kleinen Bohrungen, unter Fertigungs-

bedingungen sehr genaue Messungen der Oberflächenform bzw. des Oberflächenabstandes möglich sind.

5

Diese Aufgabe wird mit den Merkmalen des Anspruches 1 gelöst. Hiernach ist vorgesehen, daß die von der Strahlerzeugungseinheit abgegebene Strahlung zeitlich kurzkohärent und breitbandig ist.

10

Es hat sich überraschend gezeigt, daß die zeitlich kurzkohärenten und breitbandigen Strahlerzeugungseinheiten mit gleichzeitig hoher räumlicher Kohärenz als Lichtquelle einer heterodyn-interferometrischen Meßeinrichtung insbesondere in Verbindung mit der Messung an rauen Oberflächen nicht nur gut geeignet sind, sondern gegenüber Laserlichtquellen erhebliche Vorteile bringen. Die räumliche Kohärenz der Strahlung ist durch die Lichtquelle von Hause aus gegeben. Instabilitäten der spektralen Strahlungsverteilung der Lichtquelle wirken sich bei der Messung praktisch nicht aus, da mittels der Strahlerzeugungseinheit (z.B. Gitter) und der zugeordneten Strahlempfangseinheit stets nicht nur einzelne feste Wellenlängen aus dem kontinuierlichen Spektrum stabil ausgewählt werden, sondern insbesondere auch deren für die genaue, eindeutige Auswertung wichtige Differenz stabil beibehalten wird. Intensitätsänderungen der Wellenlängen bei Instabilitäten wirken sich wegen der Heterodyntechnik nicht aus, da dabei lediglich die Phasen eine Rolle spielen. Durch die zeitlich kurzkohärente Strahlung kann eine Autofokusfunktion sehr einfach realisiert werden, da das Heterodynsignal nur für einen bestimmten Abstandsbereich zwischen Meßteil und Oberfläche, der durch die kurze Kohärenzlänge bedingt ist, vorhanden ist. Ferner bringt die kurze zeitliche Kohärenzlänge den Vorteil, daß das gesamte Meßsystem auf einfache Weise mittels Kohärenzmultiplex in ein die aktiven Komponenten beinhaltendes Modulationsinterferometer und einen davon räumlich z.B. über Lichtleiter getrennten, als Meßsonde ausgebildeten kleinen und ro-

15

20

25

30

busten, leicht handhabbaren Meßteil aufgeteilt werden kann. Vorteile Ausgestaltungen sind in den Unteransprüchen angegeben.

5

Die Ansprüche 3, 4 und 5 geben dabei einen für den Einsatz bei der Fertigung günstigen Aufbau wieder. Bei dem Mach-Zehnder-Aufbau wird durch die beiden in beiden Teilstrahlengängen angeordneten akustooptischen Modulatoren die Differenz der Winkeldispersion minimiert.

10

Ist vorgesehen, daß die Strahlerzeugungseinheit eine kurzkohärente, breitbandige Zusatzlichtquelle aufweist, die zur Lichtverstärkung oder als Ersatzlichtquelle betreibbar ist, so kann bei gleichzeitiger Verwendung der beiden Lichtquellen die Lichtstärke erhöht werden. Alternativ kann die Zusatz-Lichtquelle als Ersatzlichtquelle bei Ausfall der anderen Lichtquelle verwendet werden.

15

Die Maßnahmen, daß zur Frequenzverschiebung des ersten Teilstrahls gegenüber dem zweiten Teilstrahl in dem Strahlengang des zweiten Teilstrahls eine zusätzliche Einrichtung zur Frequenzverschiebung angeordnet ist und daß die Einrichtung und die zusätzliche Einrichtung zur Frequenzverschiebung akustooptische Modulatoren sind, sind geeignet, eine kleine Winkeldispersion zu erreichen. Einem Meßfehler durch Temperaturdrift und einer damit verbundenen Brechzahländerung eines akustooptischen Modulators, die zu einer ungewollten Phasenverschiebung führt, wird durch die Anordnung der Modulatoren in beiden Strahlengängen entgegengewirkt.

20

25

Für den Aufbau und die Auswertung sind weiterhin die Maßnahmen günstig, daß die Strahlerlegungs- und Strahlempfangseinheit ein Spektralapparat mit nachgeschalteter Photodetektormatrix ist und daß die Strahlerlegungs- und Strahlempfangseinheit ebenfalls in der Baueinheit untergebracht und über die Lichtleiteranordnung mit der Meßsonde gekoppelt sind.

30

Der Aufbau und die Auswertung werden weiterhin dadurch begünstigt, daß die Meßsonde mit dem Meßzweig, dem Meßreferenzzweig und einem Strahlteiler der Meßsonde als Michelson- oder Mirau-Interferometer ausgebildet sind, und daß eine in dem Meßzweig und in dem Meßreferenzzweig erzeugte optische Wegdifferenz die mittels des Verzögerungselementes erzeugte optische Wegdifferenz aufhebt.

Ist vorgesehen, daß von dem zweiten Strahlteiler ausgehend ein weiterer Strahlengang gebildet ist, der zu einer Bezugssonde mit einem Bezugssonden-Referenzarm und einem Bezugssonden-Meßarm führt, daß in der Baueinheit eine weitere Strahlerlegungs- und Strahlempfangseinheit vorgesehen ist, und daß die Baueinheit über eine weitere Lichtleitfaseranordnung mit der Referenzsonde gekoppelt ist, so kann mittels der Bezugssonde ein Drehtisch-Fehler kompensiert werden, der zum Bewegen des Meßobjektes mit der zu messenden Oberflächenstruktur verwendet wird. Ferner kann die Bezugssonde zum Kompensieren einer z.B. durch Temperatur verursachten Drift des in der Baueinheit vorgesehenen Modulationsinterferometers herangezogen werden.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand eines Ausführungsbeispiels unter Bezugnahme auf die Zeichnung näher erläutert. Die Fig. zeigt eine Anordnung der wesentlichen Komponenten einer interferometrischen Meßeinrichtung zum Erfassen der Form rauher Oberflächen in schematischer Darstellung.

Die interferometrische Meßanordnung ist in zwei Abschnitte aufgeteilt, wovon die eine als Baueinheit 2 in Form eines Modulationsinterferometers ausgebildet ist, während der andere Abschnitt eine Meßsonde 3, mit der ein auf einem Drehtisch 15 befindliches Meßobjekt 4 mit einer zu messenden rauhen Oberfläche abgetastet wird, sowie eine Bezugssonde 5 umfaßt. Die Meßsonde 3 ist über

eine Lichtleitfaseranordnung 6 mit dem Modulationsinterferometer 2 gekoppelt, während die Meßsonde 5 über eine weitere Lichtleitfaseranordnung 7 mit dem
5 Modulationsinterferometer 2 verbunden ist. Das Modulationsinterferometer 2 in Form der Baueinheit 2 ist vorliegend als Mach-Zehnder Interferometer aufgebaut und weist die aktiven Komponenten auf, nämlich eine Lichtquelle 8 und eine zusätzliche Lichtquelle 8', in den Strahlengängen eines ersten Teilstrahls 16 und eines zweiten Teilstrahls 17 angeordnete akustooptische Modulatoren 9 bzw. 9'
10 sowie zwei Photodetektormatrizen, die Teil einer Strahlzerlegungs- und Strahlempfangseinheit 13 bzw. einer zusätzlichen Strahlzerlegungs- und Strahlempfangseinheit 13' sind. Denkbar ist auch ein Aufbau als Michelson-Interferometer. Das Modulationsinterferometer 2 ist z.B. in einem klimatisierten, schwingungsisolierenden Gehäuse eingebaut.

15 Die Lichtquelle 8 und die zusätzliche Lichtquelle 8', z.B. Superlumineszenzdiolen, sind kurzkohärente breitbandige Lichtquellen mit einer kontinuierlichen Strahlungsverteilung einer Vielzahl unterschiedlicher Wellenlängen. Das Licht der Lichtquelle 8 und das Licht der Lichtquelle 8' wird kollimiert und in den ersten
20 Teilstrahl 16 und den zweiten Teilstrahl 17 mittels eines ersten Strahlteilers 18 aufgeteilt, wobei sich die Lichtquelle 8 und die zusätzliche Lichtquelle 8' auf verschiedenen Seiten des Strahlteilers 18 befinden. Die zusätzliche Lichtquelle 8' kann als vorjustierte Ersatzquelle oder zur Verstärkung der gesamten Lichtstärke eingesetzt werden. Die beiden Teilstrahlen 16, 17 werden mit Hilfe der
25 beiden akustooptischen Modulatoren 9 bzw. 9' gegenseitig in der Frequenz verschoben. Die Frequenzdifferenz beträgt z.B. einige kHz. In dem einen Arm des z.B. als Mach-Zehnder-Interferometer oder Michelson-Interferometer aufgebauten Modulationsinterferometer 2 ist im Strahlengang hinter dem akustooptischen Modulator 9' und einem anschließenden Ablenkspiegel 11' ein Verzögerungselement 10 z.B. in Form einer planparallelen Glasplatte eingesetzt, das eine Dif-

30

ferenz der optischen Weglängen der beiden Teilstrahlen 16, 17, die länger als die Kohärenzlänge der Lichtquelle 8 bzw. 8' ist, erzwingt. In dem Arm des Modulationsinterferometers 2 mit dem ersten Teilstrahl 16 ist hinter dem akustooptischen Modulator 9 ebenfalls ein Ablenkspiegel 11 angeordnet, von dem das Licht auf einen zweiten Strahlteiler 12 gelenkt wird. Die beiden Teilstrahlen 16, 17 werden in dem zweiten Strahlteiler 12 überlagert und in eine oder zwei Monomode-Lichtleiteranordnung/en eingekoppelt. Aufgrund der mittels des Verzögerungselements 10 bewirkten optischen Wegdifferenz interferieren die beiden Teilstrahlen 16, 17 nicht. Das Licht wird über die Licht-Leitfaseranordnung 6 zu der Meßsonde 3 und über die weitere Licht-Leitfaseranordnung 7 zu der Bezugssonde 5 geführt und dort ausgekoppelt. Die Meßsonde 3 bzw. die Bezugssonde 5 sind z.B. in Form eines Michelson- oder Mirau-Interferometers so aufgebaut, daß die optische Wegdifferenz der überlagerten Strahlen eines Meßzweiges 3.1 und Referenzzweiges 3.2 der Meßsonde 3 bzw. eines Bezugssonden-Referenzarmes 5.1 und eines Bezugssonden-Meßarmes 5.2 der optischen Wegdifferenz der beiden Teilstrahlen 16, 17 des Modulations-Interferometers 2 entspricht. In der Fig. sind die Meßsonde 3 und die Bezugssonde 5 als Michelson-Interferometer abgebildet.

Der durch den Meßzweig 3.1 verlaufende Meßstrahl wird mittels einer optischen Anordnung auf die zu vermessende Oberfläche des Meßobjektes 4 fokussiert. Das von der Oberfläche reflektierte Licht wird dem in dem Referenzzweig 3.2 an einem reflektierenden Element zurückgeführten Referenzstrahl überlagert und in eine zu der Strahlzerlegungs- und Strahlempfangseinheit 13 führende Lichtleiterfaser eingekoppelt. Aufgrund des Wegdifferenzausgleichs können die Lichtstrahlen interferieren. Entsprechend wird das Licht des Bezugssonden-Meßarms 5.1 mit dem Licht des Bezugssonden-Referenzarmes 5.2 überlagert und der weiteren

Strahlzerlegungs- und Strahlempfangseinheit 13' über die weitere Lichtleitfaseranordnung 7 über einen entsprechenden abführenden Zweig der weiteren Lichtleitfaseranordnung 7 zugeführt.

Aufgrund des Wegdifferenzenausgleichs in der Meßsonde 3 bzw. der Bezugssonde 5 können die Lichtstrahlen interferieren. Die Lichtphasen-Differenz, die mittels des Heterodyn-Verfahrens in Verbindung mit den akustooptischen Modulatoren einfach auswertbar gemacht wird, beinhaltet Informationen über den Abstand zu der zu messenden Oberfläche des Meßobjektes 4 und damit über deren Oberflächenstruktur. Das von der Meßsonde 3 bzw. der Bezugssonde 5 in das Modulationsinterferometer 2 zurückgeleitete Licht wird aus der Lichtleitfaseranordnung 6 bzw. der weiteren Lichtleitfaseranordnung 7 ausgekoppelt, mit Hilfe eines Spektralelementes (z.B. Gitter oder Prisma) der Strahlzerlegungs- und Strahlempfangseinheit 13 bzw. weiteren Strahlzerlegungs- und Strahlempfangseinheit 13' in mehrere Farben bzw. Wellenlängen zerlegt und auf die Photodetektormatrix fokussiert. Jeder Photodetektor liefert ein elektrisches Signal mit der durch die akustooptischen Modulatoren 9, 9' erzeugten Differenzfrequenz und einer Phase φ_n , die mit der Oberflächenstruktur bzw. dem Abstand zum Meßobjekt mit der Meßgröße ΔL (Formabweichung, Rauigkeit) und der zugehörigen Wellenlänge λ_n gemäß der Beziehung

$$\varphi_n = (2 \pi \lambda_n) \Delta L \cdot 2$$

zusammenhängt. Die Auswertung erfolgt auf der Grundlage einer Differenzbildung zwischen den Phasen der Signale unterschiedlicher Photodetektoren.

Durch die Vermessung der Phasendifferenzen der Signale mehrerer Photodetektoren (Mehrwellenlängen-Heterodyn-Interferometrie, vgl. die eingangs genannte

Druckschrift mit weiteren Nachweisen) läßt sich die Meßgröße ΔL , die größer als
einzelne Lichtwellenlängen sein darf, in einer Auswerteeinrichtung, beispiels-
weise in Form eines Rechners 14, eindeutig bestimmen.

Mit dem beschriebenen Aufbau der interferometrischen Meßvorrichtung 1 wird
eine vorteilhafte Trennung in einen Abschnitt mit der leicht handhabbaren
Meßsonde 3 bzw. Bezugssonde 5 einerseits und einen Abschnitt mit den relativ
empfindlichen Komponenten des Modulations-Interferometers 2 und der Auswer-
teeinrichtung erzielt. Die kurzkohärente, breitbandige Lichtquelle 8 bzw. 8' führt
zur einfachen Bereitstellung mehrerer stabiler Strahlungsanteile unterschiedlicher
Wellenlängen und zur verbesserten, eindeutigen Auswertung von Formabweichungen,
die auch Vielfache einer Wellenlänge betragen können.

Ansprüche

1. Interferometrische Meßeinrichtung (1) zum Erfassen der Form oder des Abstandes insbesondere rauner Oberflächen mit mindestens einer räumlich kohärenten Strahlerzeugungseinheit (8, 8'), deren Strahlung in einer Meßsonde (3) in einen durch einen Meßreferenzzweig (3.2) geführten und darin reflektierten Referenzmeßstrahl und in einen durch einen Meßzweig (3.1) geführten und an der rauhen Oberfläche reflektierten Meßstrahl aufgeteilt wird, mit einer Einrichtung (9) zur Modulation der Licht-Phase oder zum Verschieben der Licht-Frequenz (Heterodynfrequenz) eines ersten Teilstrahls (16) gegenüber der Licht-Phase oder der Licht-Frequenz eines zweiten Teilstrahls (17) mit einer Überlagerungseinheit zum Überlagern des reflektierten Meßreferenzstrahls mit dem reflektierten Meßstrahl, mit einer Strahlerlegungs- und Strahlempfangseinheit (13) zum Aufspalten der überlagerten Strahlung auf zumindest zwei Strahlen mit unterschiedlichen Wellenlängen und Umwandeln der Strahlung in elektrische Signale und mit einer Auswerteeinrichtung (14), in der die Form bzw. der Abstand der rauhen Oberfläche auf der Grundlage einer Phasendifferenz der elektrischen Signale bestimmbar ist, dadurch gekennzeichnet, daß die von der Strahlerzeugungseinheit (8, 8') abgegebene Strahlung zeitlich kurzkohärent und breitbandig ist.

2. Meßeinrichtung nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Strahlerzeugungseinheit (8, 8') eine die zeitlich kurzkohärente und
breitbandige Strahlung abgebende Lichtquelle ist.
3. Meßeinrichtung nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Strahlerzeugungseinheit (8, 8'), ein Strahlteiler zum Bilden des er-
sten und zweiten Teilstrahls (16, 17) und die Einrichtung (9) zur
Phasenmodulation oder Frequenzverschiebung in einer von der Meßsonde
(3) räumlich beabstandeten, als Modulationsinterferometer ausgebildeten
Baueinheit (2) angeordnet sind, und
daß in der Baueinheit (2) in dem Strahlengang eines Teilstrahls ein Verzö-
gerungselement (10) angeordnet ist, das eine Differenz der optischen
Weglängen der beiden Teilstrahlen (16, 17) ergibt, die länger als die Kohä-
renzlänge der von der Strahlungserzeugungseinheit (8, 8') abgegebenen
Strahlung ist.
4. Meßeinrichtung nach Anspruch 3,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Baueinheit (2) und die Meßsonde (3) mittels einer Lichtleiteran-
ordnung (6) miteinander gekoppelt sind.
5. Meßeinrichtung nach Anspruch 3 oder 4,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Baueinheit (2) einen ersten Strahlteiler (18) zum Bilden des ersten
und zweiten Teilstrahls (16, 17) und einen zweiten Strahlteiler, dem der

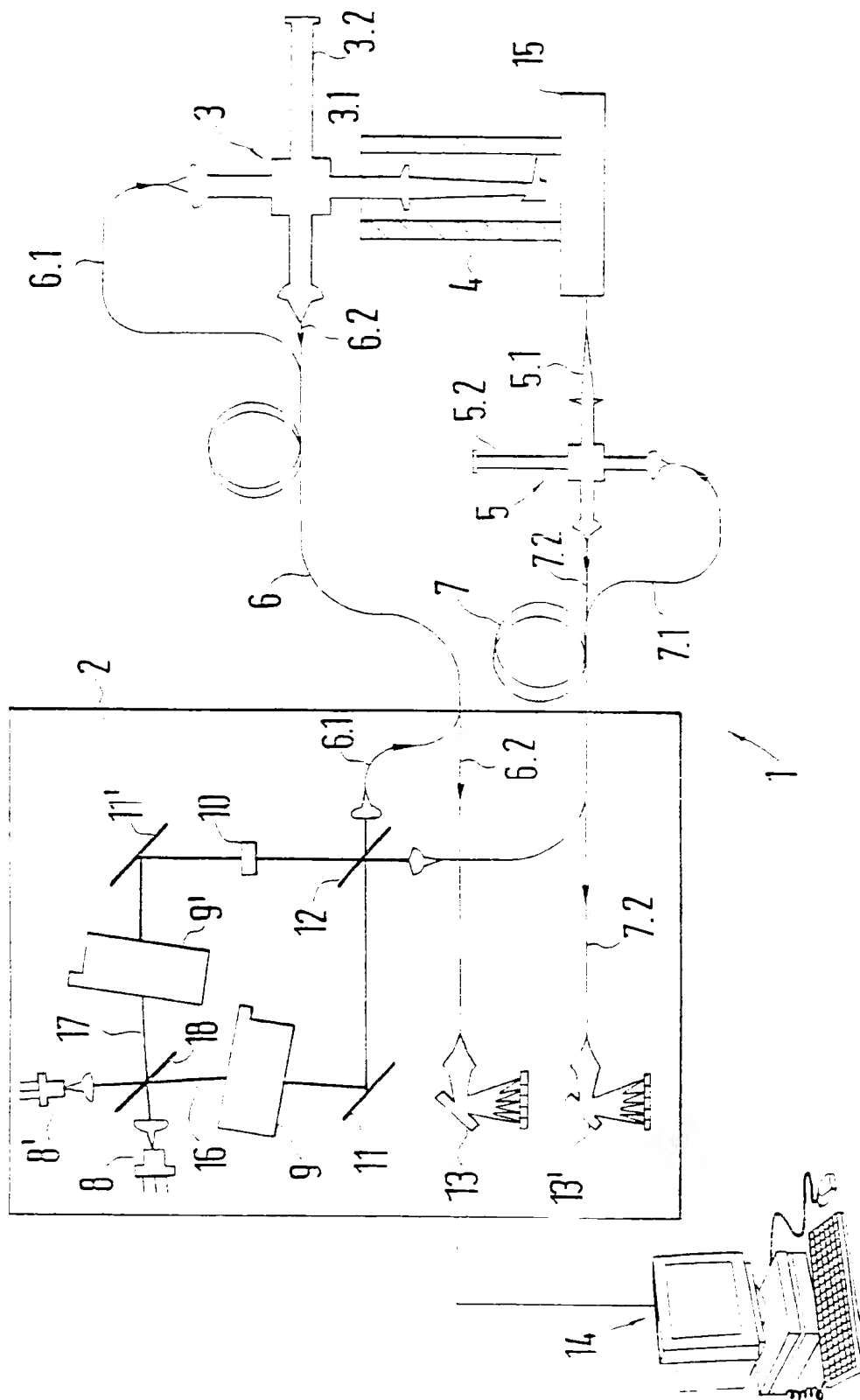
erste und der zweite Teilstrahl (16, 17) zugeführt werden und an den beiden Teilstrahlen (16, 17) überlagert werden und der den zur Meßsonde (3) geführten Strahl weiterleitet, aufweist (Mach-Zehnder-Interferometer).

- 5
6. Meßeinrichtung nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Strahlerzeugungseinheit (8, 8') eine zeitlich kurzkohärente,
10 breitbandige und räumlich kohärente Zusatzlichtquelle (8') aufweist, die zur Lichtverstärkung oder als Ersatzlichtquelle betreibbar ist.
7. Meßeinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
15 daß zur Frequenzverschiebung des ersten Teilstrahls (16) gegenüber dem zweiten Teilstrahl (17) in dem Strahlengang eines der beiden Teilstrahlen (16, 17) eine zusätzliche Einrichtung (9') zur Frequenzverschiebung angeordnet ist und
daß die Einrichtung (9) und die zusätzliche Einrichtung (9') zur Frequenzverschiebung akustooptische Modulatoren sind.
20
8. Meßeinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Strahlerlegungs- und Strahlempfangseinheit (13) ein Spektralapparat zur Aufspaltung des Lichts in mehrere Wellenlängen und eine nachgeschaltete Photodetektormatrix zum selektiven Empfang dieser Wellenlängen ist,
25 daß die Strahlerlegungs- und Strahlempfangseinheit (13) ebenfalls in der Baueinheit (2) untergebracht ist,
daß die Strahlungszerlegungs- und die Strahlenempfangseinheit (13) über
30 die Lichtleitfaseranordnung (6) mit der Meßsonde (3) gekoppelt ist und

daß die Phasendifferenzen von Signalen von einzelnen Detektoren der Photodetektormatrix zur Bestimmung der Form oder des Abstands der Meßoberfläche verwendet werden.

9. Meßeinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßsonde (3) mit dem Meßzweig (3.1) dem Meßreferenzzweig (3.2) und einem Strahlteiler der Meßsonde (3) als Michelson- oder Mirau-Interferometer ausgebildet sind, und daß eine in dem Meßzweig (3.1) und in dem Meßreferenzzweig (3.2) erzeugte optische Wegdifferenz die mittels des Verzögerungselementes (10) erzeugte optische Wegdifferenz aufhebt.
10. Meßeinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß von dem zweiten Strahlteiler (12) ausgehend ein weiterer Strahlengang gebildet ist, der zu einer Bezugssonde (5) mit einem Bezugssonden-Referenzarm (5.2) und einem Bezugssonden-Meßarm (5.1) führt, daß in der Baueinheit (2) eine weitere Strahlzerlegungs- und Strahlempfangseinheit (13') vorgesehen sind, und daß die Baueinheit (2) über eine weitere Lichtleitfaseranordnung (7) mit der Referenzsonde (5) gekoppelt ist.
11. Verwendung der Meßeinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßeinrichtung für die Innengeometrie-Vermessung an Bohrungen eingesetzt wird.

1/1





INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/DE 99/00433

A CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G 01 B 9/02, G 01 B 11/14, G 01 B 11/30

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G 01 B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No
A	EP 0126475 B1 (CARL ZEISS) 15. March 1989, sited in the description	1
	--	
A	DE 3906118 A1 (ROBERT BOSCH) 30. August 1990, sited in the description	1
	--	
A	DE 4404663 A1 (STIFTUNG) 17. August 1995.	1
	--	
A	WO 92/10719 A1 (OMETRON) 25. June 1992.	1

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance: the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance: the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

23 June 1999

Date of mailing of the international search report

22.07.99

Name and mailing address of the ISA/

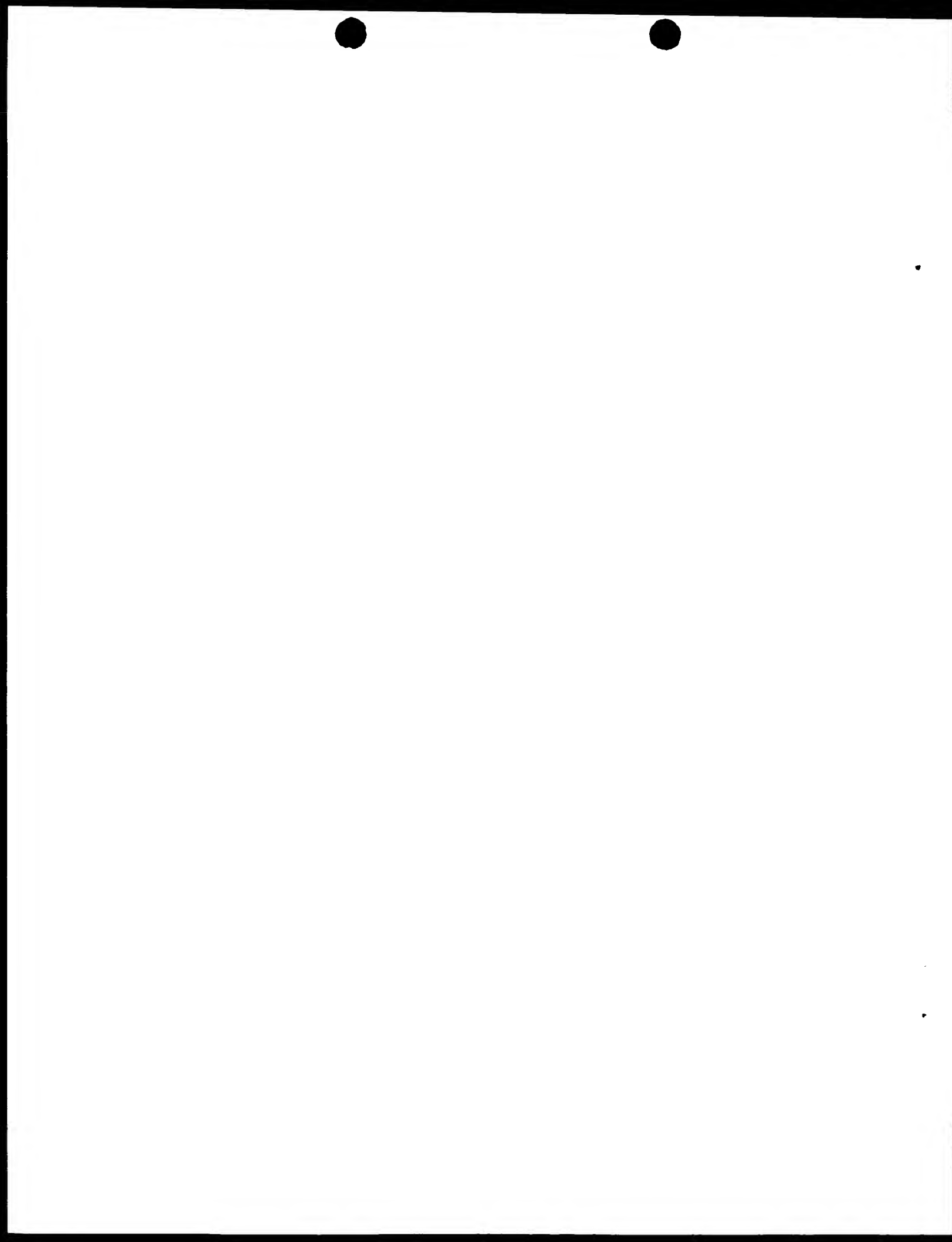
European Patent Office

Facsimile No

Authorized officer

NARDAI e.h.

Telephone No



INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Intern. Aktenzeichen

PCT/DE 99/00433

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

G 01 B 9/02, G 01 B 11/14, G 01 B 11/30

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK 6

B. RESEARCHIERTE GEBIETE

Researchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

G 01 B

Researchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehorende Veröffentlichungen, soweit diese unter die researchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
------------	--	--------------------

A	EP 0126475 B1 (CARL ZEISS) 15. März 1989, in der Beschreibung genannt.	1
A	DE 3906118 A1 (ROBERT BOSCH) 30. August 1990. in der Beschreibung genannt.	1
A	DE 4404663 A1 (STIFTUNG) 17. August 1995.	1
A	WO 92/10719 A1 (OMETRON) 25. Juni 1992.	1

☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☐ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen:

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"B" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"C" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"D" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"E" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfindungsgemäßer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfindungsgemäßer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"Z" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum der Abschlusses der internationalen Recherche

23 Juni 1999

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

22. 07. 99

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.O. Box 1, Patentstr. 1
D-1100 HV Berlin
Tel.: +31-70 340 2040, 1+31-70 340 3011
Fax: +31-70 340 3016

Bevollmächtigter Bevollmächtigter

NARDAI e.h.

zum internationalen Recherchen-
bericht über die internationale
Patentanmeldung Nr.

zum internationalen Recherchen-
bericht über die internationale
Patentanmeldung Nr.

to the International Search.
Report to the International Patent
Application No.

to the International Search.
Report to the International Patent
Application No.

au rapport de recherche inter-
national relatif à la demande de brevet
international n°

au rapport de recherche inter-
national relatif à la demande de brevet
international n°

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der 10 oben genannten internationalen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben. Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

This Annex lists the patent family members relating to the patent documents cited in the above-mentioned international search report. The Office is in no way liable for these particulars which are given merely for the purpose of information.

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents de brevets cités dans le rapport de recherche international visé ci-dessus. Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office.

la Recherchebericht angeführtes Patentdokument Patent document cited in search report Document de brevet cité dans le rapport de recherche		Datum der Veröffentlichung Publication date Date de publication		Mitglied(er) der Patentfamilie Patent family member(s) Membre(s) de la famille de brevets		Datum der Veröffentlichung Publication date Date de publication	
EP	B1	126475	15-07-1989	EP	A1	126475	15-07-1989
DE	A1	3906116	20-08-1990	DE	A1	3906116	20-08-1990
DE	A1	4404667	17-08-1995	DE	A1	4404667	17-08-1995
WO	A1	9210719	25-06-1992	WO	A1	9210719	25-06-1992